



# 広帯域VLBI観測システムの 開発概要

関戸衛、岳藤一宏、氏原秀樹、堤正則、宮内結花、  
長谷川新吾、川合栄治、ホビガートーマス、市川隆一、  
近藤哲朗、小山泰弘  
情報通信研究機構

# 光周波数標準器

- Cs原子時計:

- その定義は「セシウム133原子の基底状態の2つの超微細準位間の遷移に対応する放射の9 192 631 770周期の継続時間」

- 確度: 15桁

- 光の遷移周波数  
による秒の定義へ

- $4.3\text{e}14$  Hz
- 確度: 16→18桁



ストロンチウム光格子時計

# VLBI 技術を使った周波数比較

小型アンテナを  
使ったVLBI

どこにでも移設・設置できる  
周波数比較システム

感度改善  $\propto \sqrt{B}$

B: 帯域幅(1GHz) : 従来の $\sqrt{30}$ 倍

精度向上  $\propto 1/[EBW]^{1.5}$

EBW:有効帯域幅 (~3GHz): 従来の10倍

広帯域システム

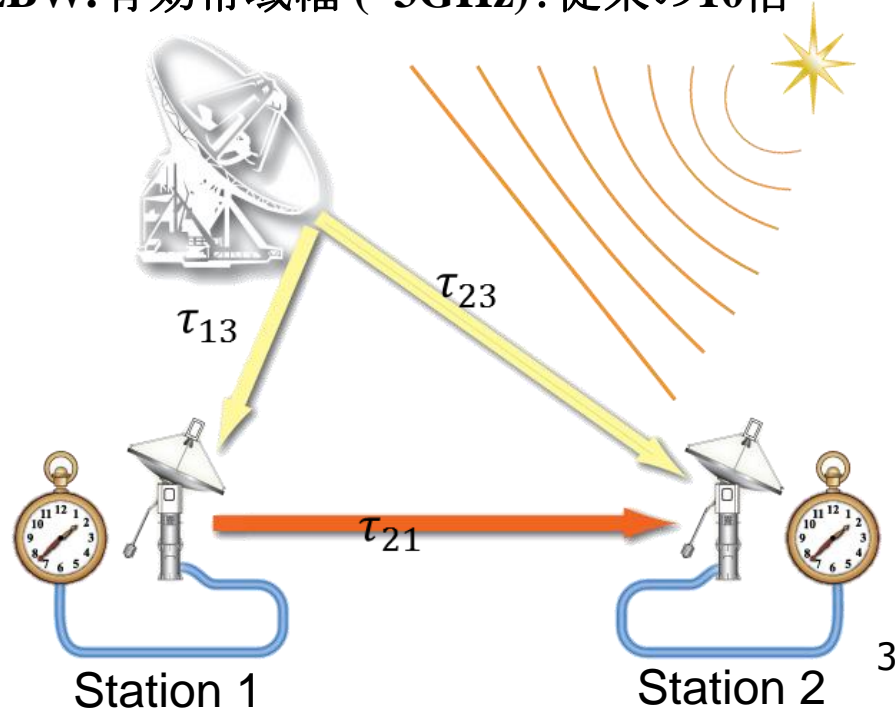


互換性

次世代測地VLBI  
システムVGOS

開発課題

- 広帯域フィードの開発(氏原)
- 高速サンプラ[デジタルフィルタ](岳藤)
- 超広帯域バンド幅合成



# VLBIの遅延計測精度



つくば 32m 小金井1.5m

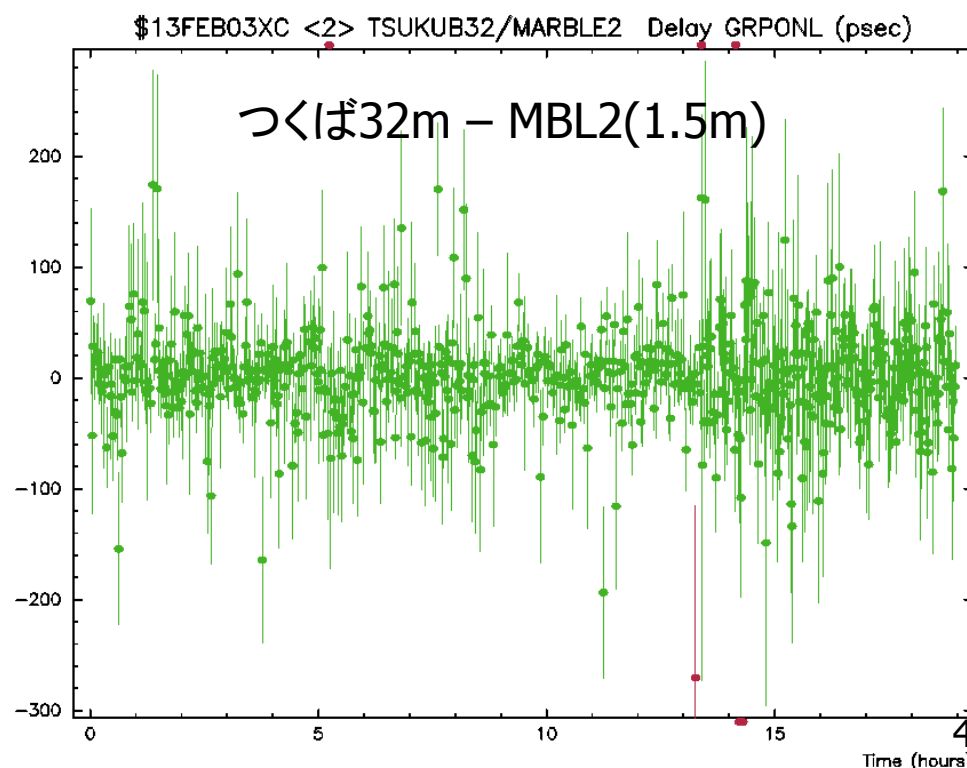
～2013年2月のX-band実験～

アンテナ口径	残差 RMS
11m-11m	～ 30 ps
32m-11m	～ 20 ps
32m-1.5m	～ 30 ps

主な誤差要因

1. 大気の推定誤差
2. 熱雑音誤差  $\propto (\text{SNR} \times \text{BW})^{-1}$

## VLBI解析 遅延残差の例

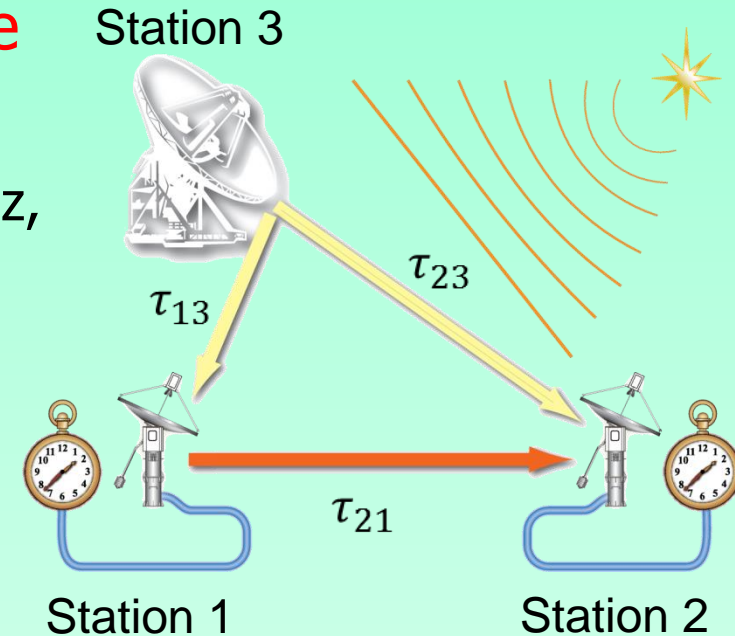
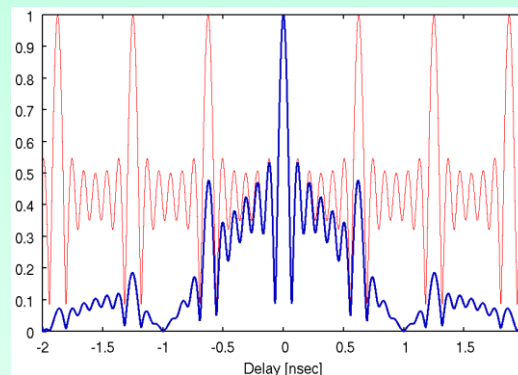
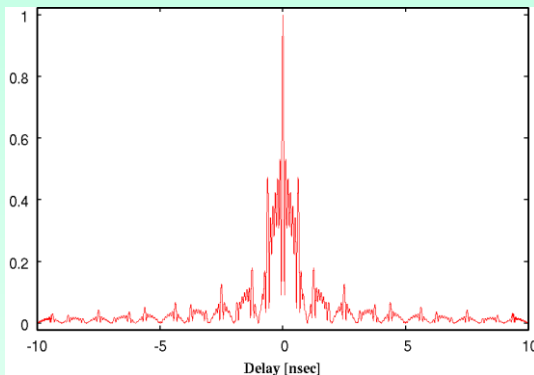
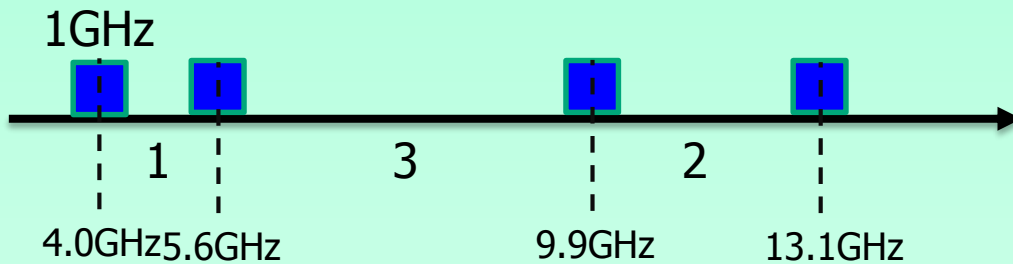


# Gala-V プロジェクト 概要

ターゲット遅延計測精度: 現状30 ps  $\rightarrow$  10 ps

Combination of Small and Large Diameter antennas

- 観測周波数.: 3-14GHz Freq. Range
- 帯域: 4 band (1024MHz)
  - $F_c = 4.0\text{GHz}, 5.6\text{GHz}, 9.9\text{GHz}, 13.1\text{GHz},$
  - Effective BW: 3.8GHz

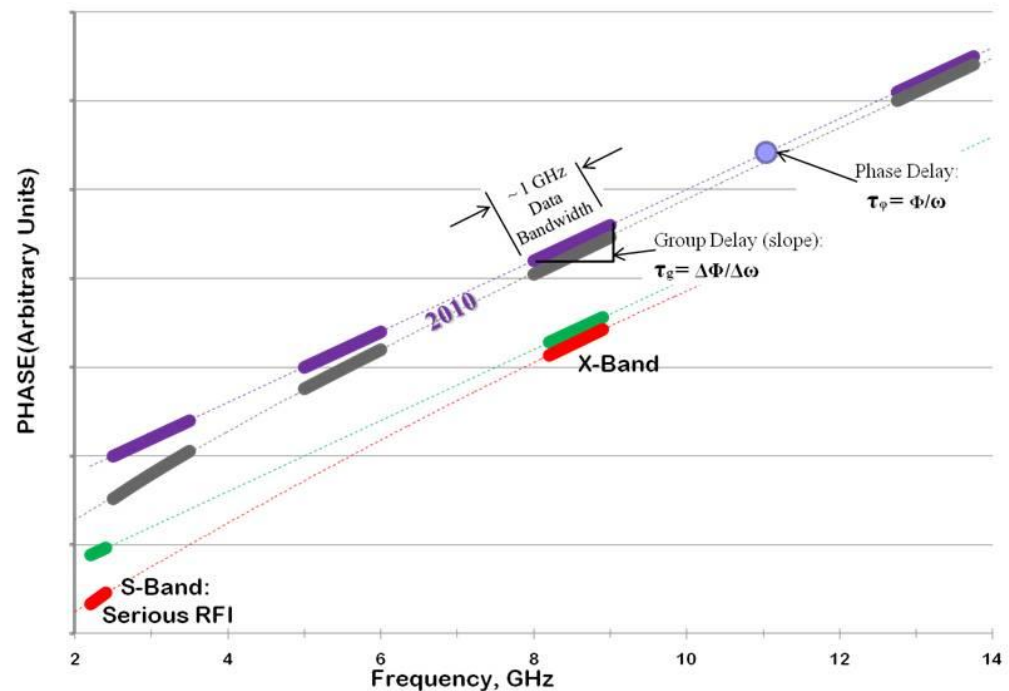
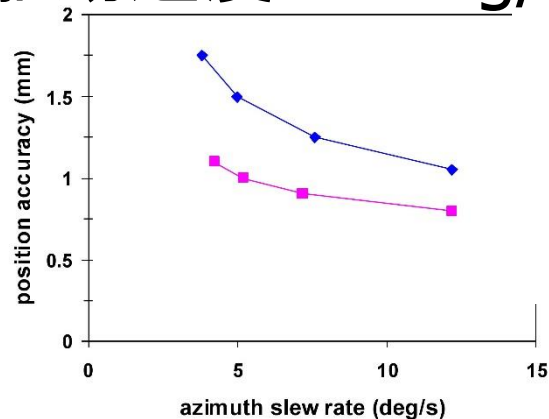


遅延分解関数: 遅延計測精度を決める相互相関関数の波形

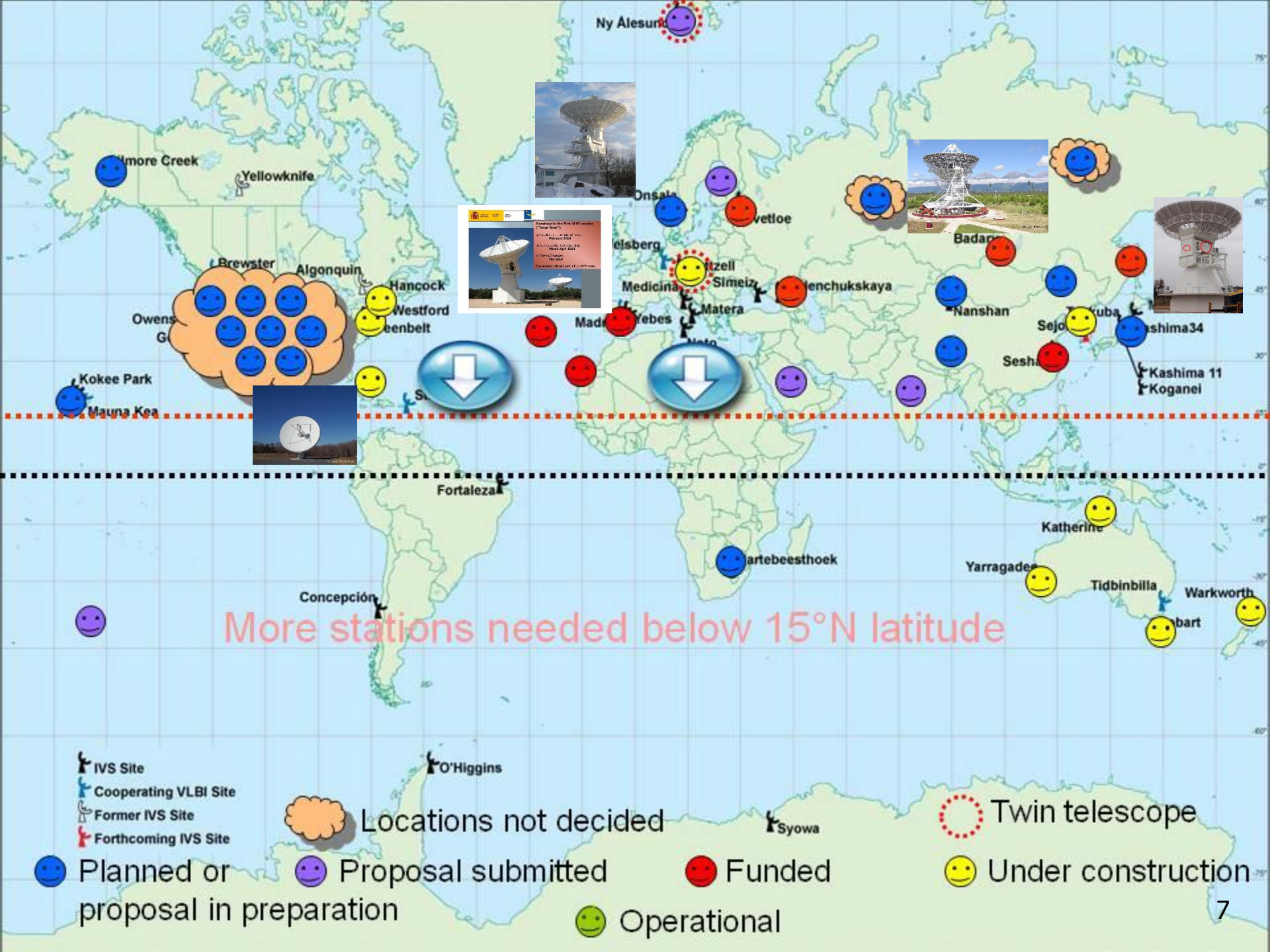
# VGOS(VLBI2010 Global Observing System)

## ■ VLBI2010

- Freq.: 2-14GHz
- 遅延精度: 1ps
- 測地精度: 1mm
- 駆動速度: 12deg/s







More stations needed below 15°N latitude

- IVS Site
- Cooperating VLBI Site
- Former IVS Site
- Forthcoming IVS Site



Locations not decided



Planned or  
proposal in preparation



Proposal submitted



Funded



Operational



Twin telescope



Under construction

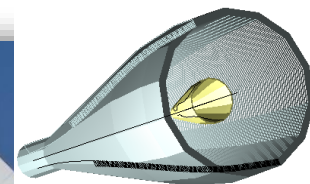
# 1.6/1.5m and 34m VLBI antenna



1.5m compact antenna



Kashima 34m antenna



- VLBI2010 仕様に 部分準拠
  - 1 GHz x 4 band      3-15GHz Frequency Range



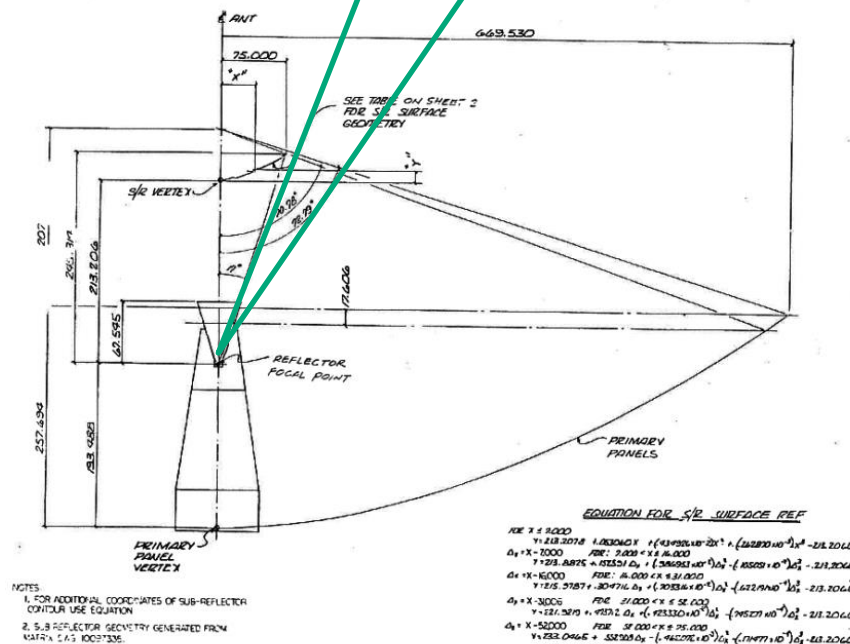


# “Iguana” Feed

## 要求性能:

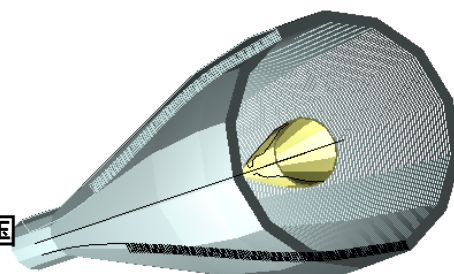
- 35 度. ビーム幅 for 3-14GHz

鹿島34mに搭載されたIguana Feed(氏原)と常温 LNA



周波数帯域6.4-14GHz 次機は 2.2-18 GHz の見込み

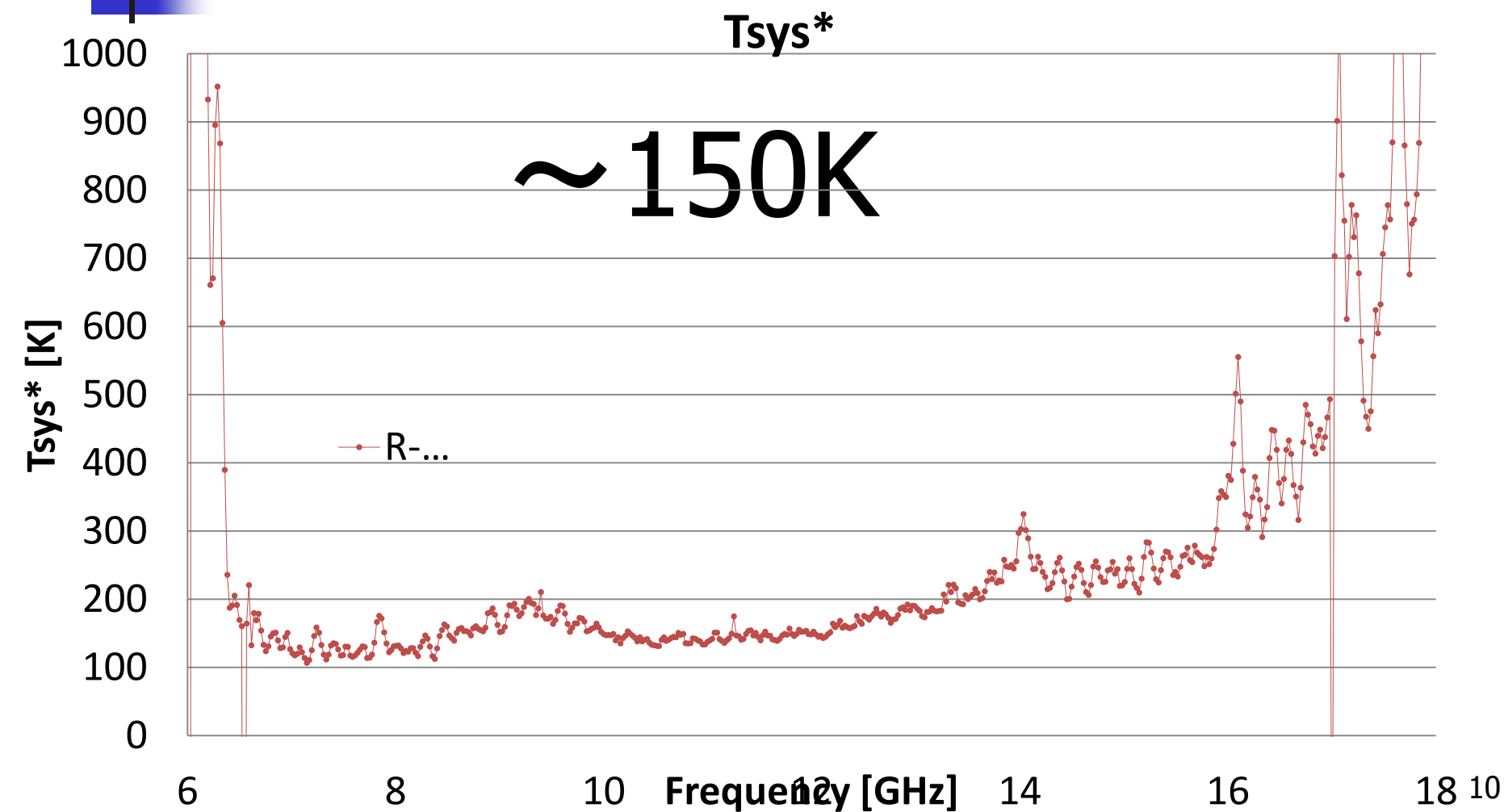
広帯域フィード‘Iguana’の開発には国立天文台の共同研究開発ファンドに支援を頂いており、応募代表者の山口大学 藤澤教授、天文台 本間准教授、松本研究員 に感謝します。



‘Iguana’ feedのイメージ



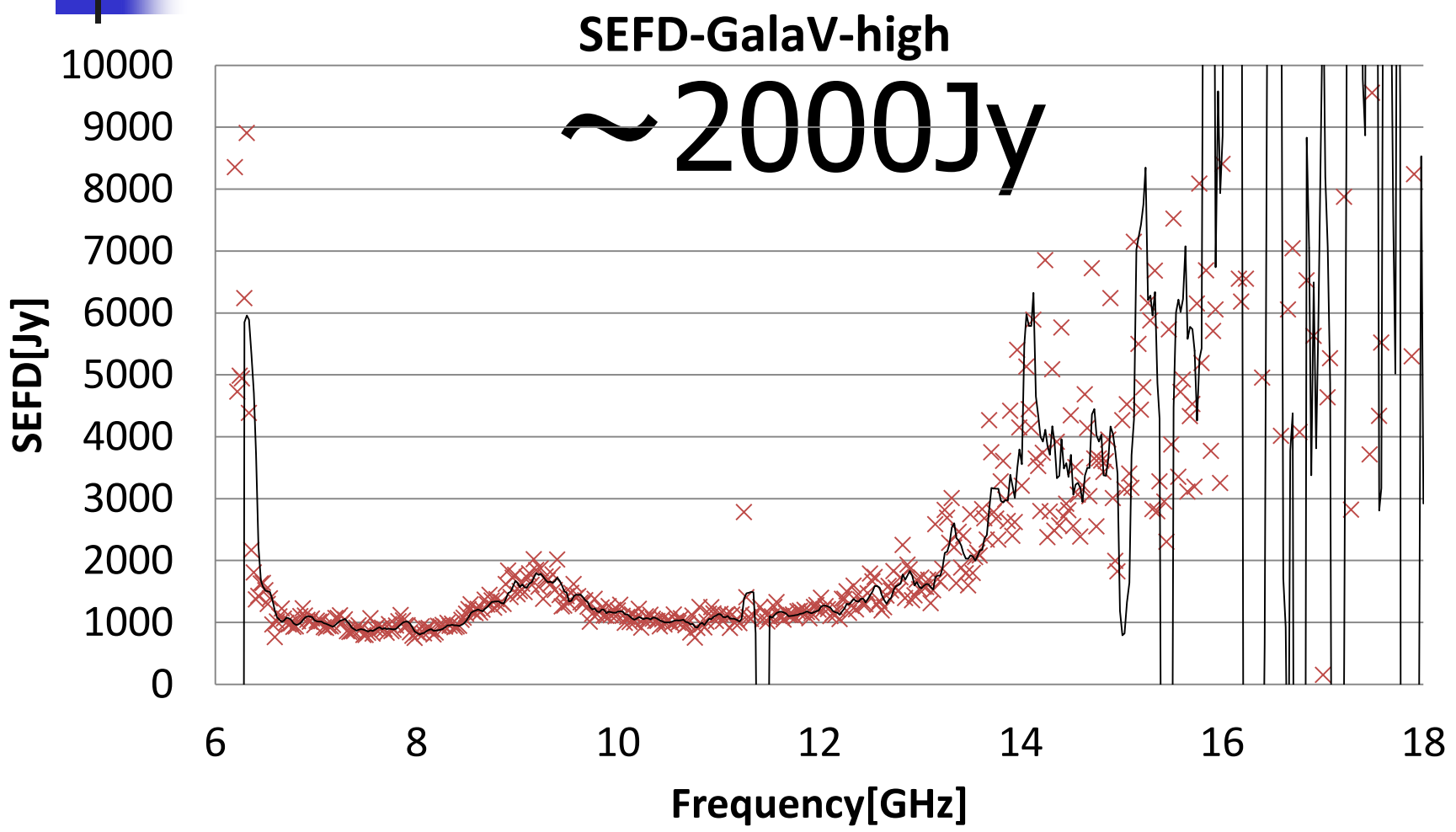
# 修正システム雑音温度 $T_{\text{sys}}^*$



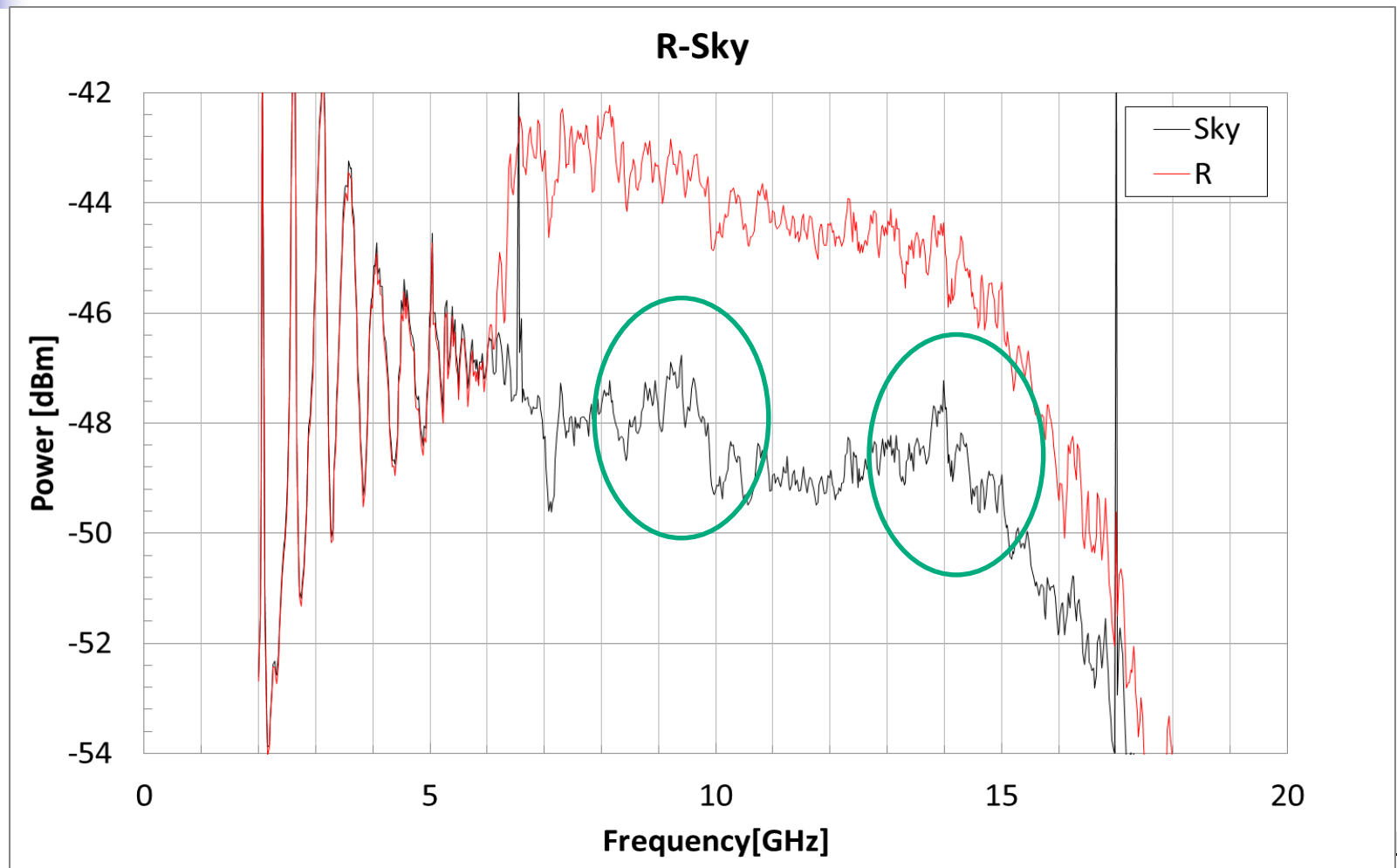


# SEFD

SEFD: システム等価フラックス密度 = アンテナ性能の指標



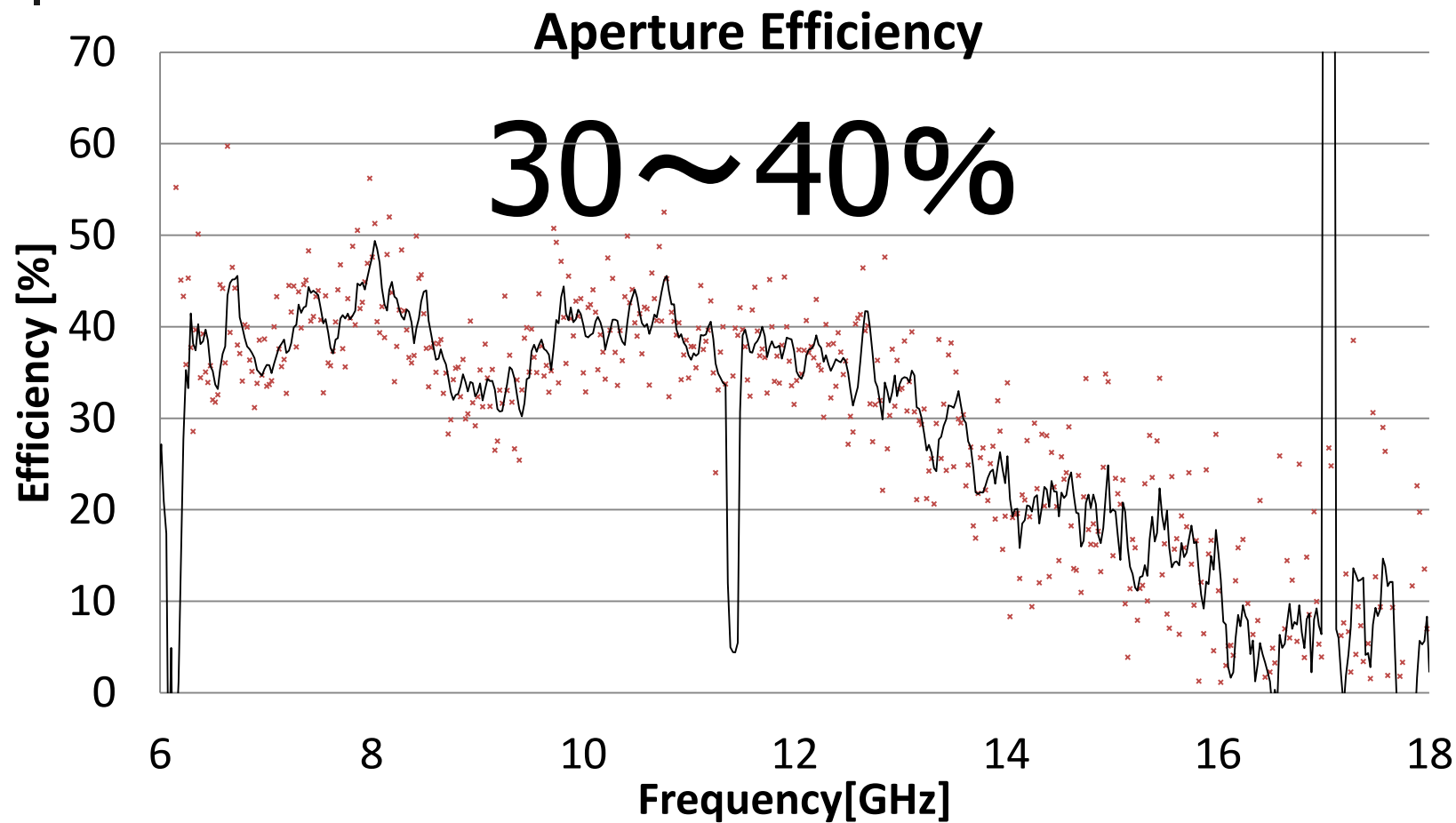
# 9GHz,14GHz付近での Tsys,SEFDの盛り上がりの原因





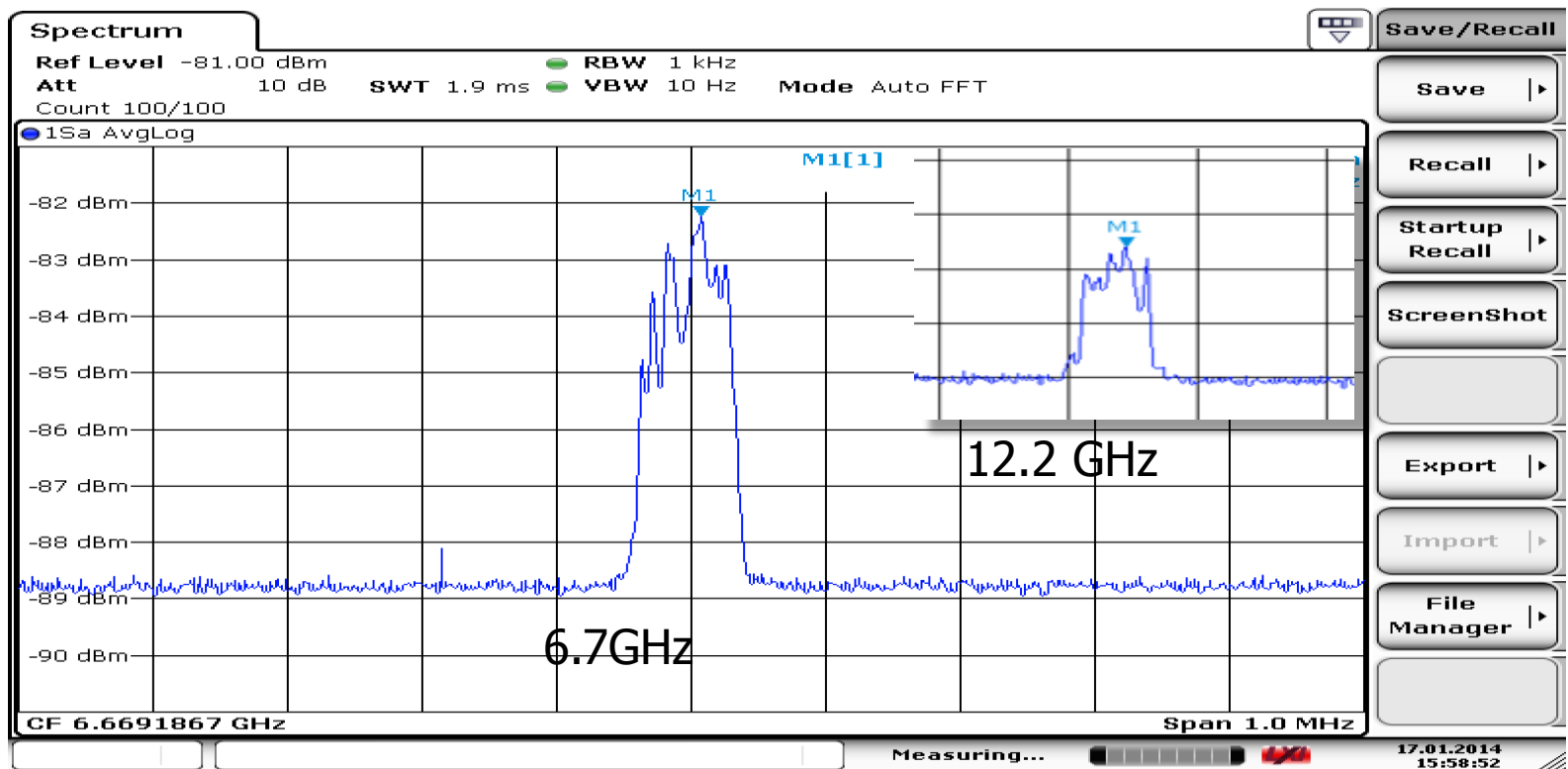


# Efficiency with Cyg-A



# メタノールメーザ 6.7GHz 12.2GHz の同時受信成功

- W30Hなど複数の天体について、メタノールメーザ 6.7GHz、12.2GHz の同時受信に成功しました(16 Jan.2014.) このような観測ができるのは現在鹿島34mのみ。



Date: 17.JAN.2014 15:58:51

# MARBLE小型アンテナのRF-BOX



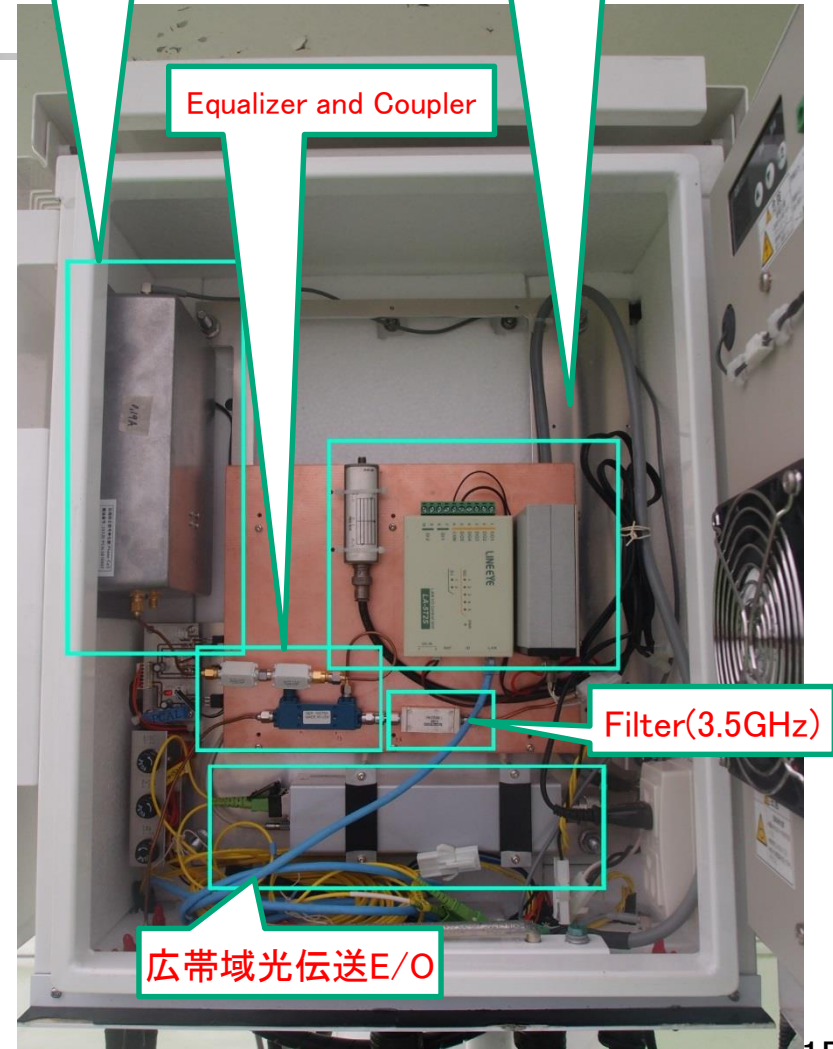
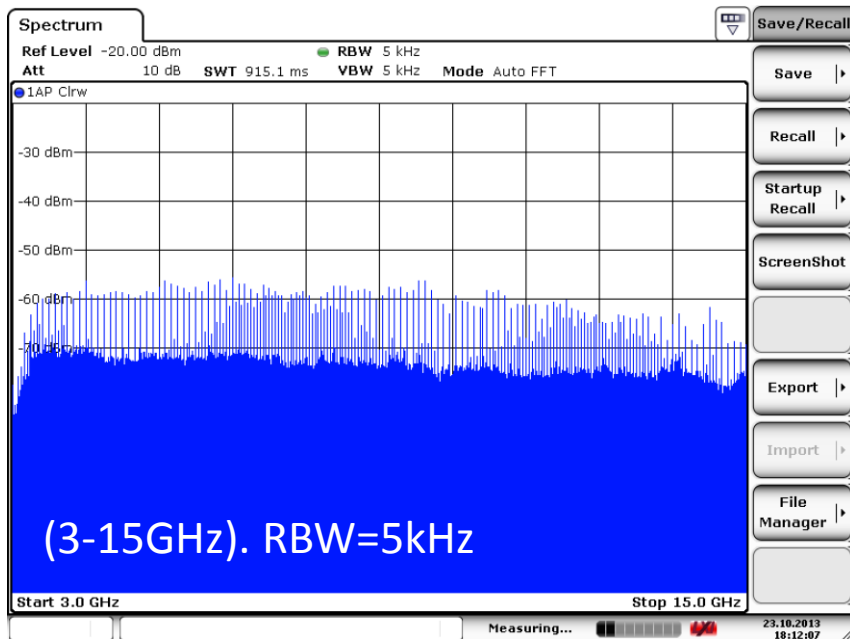
ペルチェクーラー

PCAL (COMB)発生器

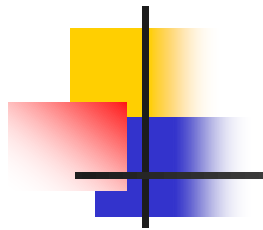
Noise-Cal 制御部

Equalizer and Coupler

バンド幅合成に大切なPCAL信号の品質  
(位相)確認が必要



# 産総研 3-7棟 屋上へのMarble1アンテナの設置





# Webcamモニタ 遠隔観測操作

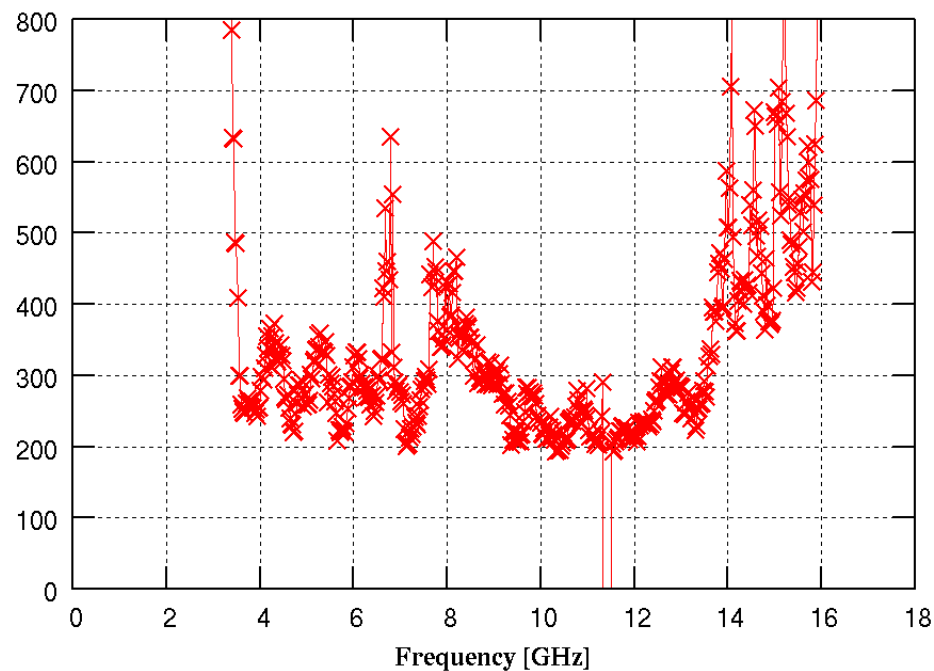
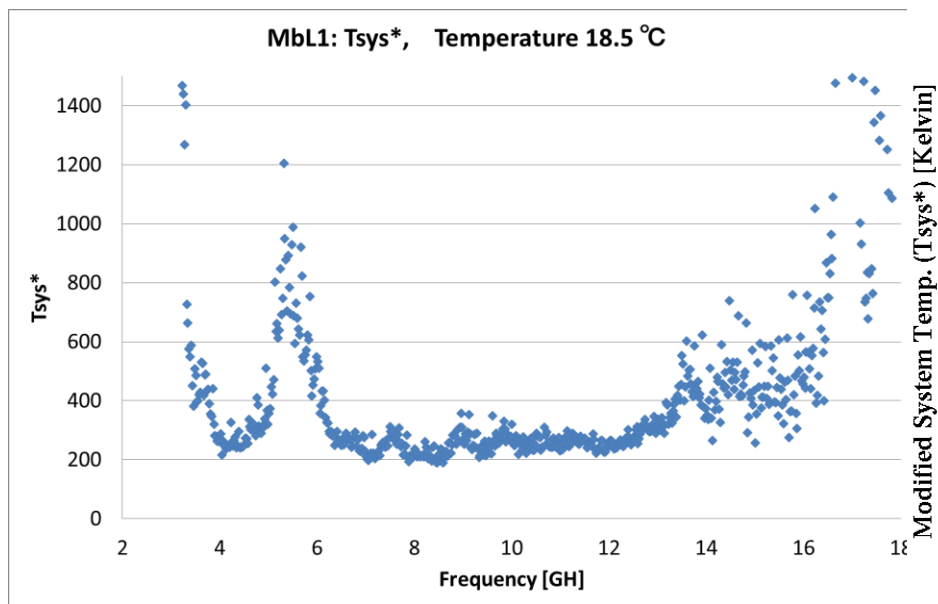




# Tsys\*

## Marble1(産総研つくば)

## Marble2(小金井)

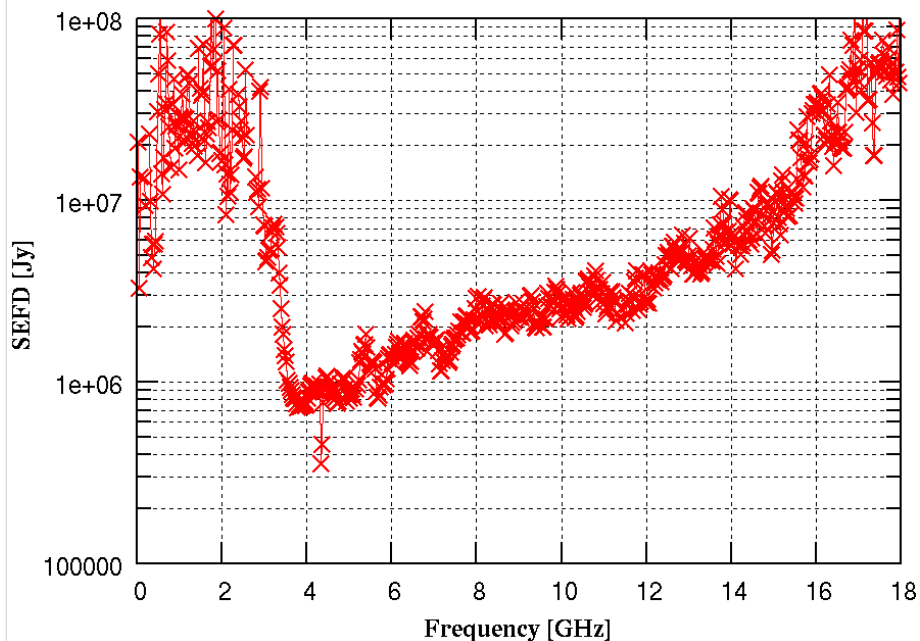
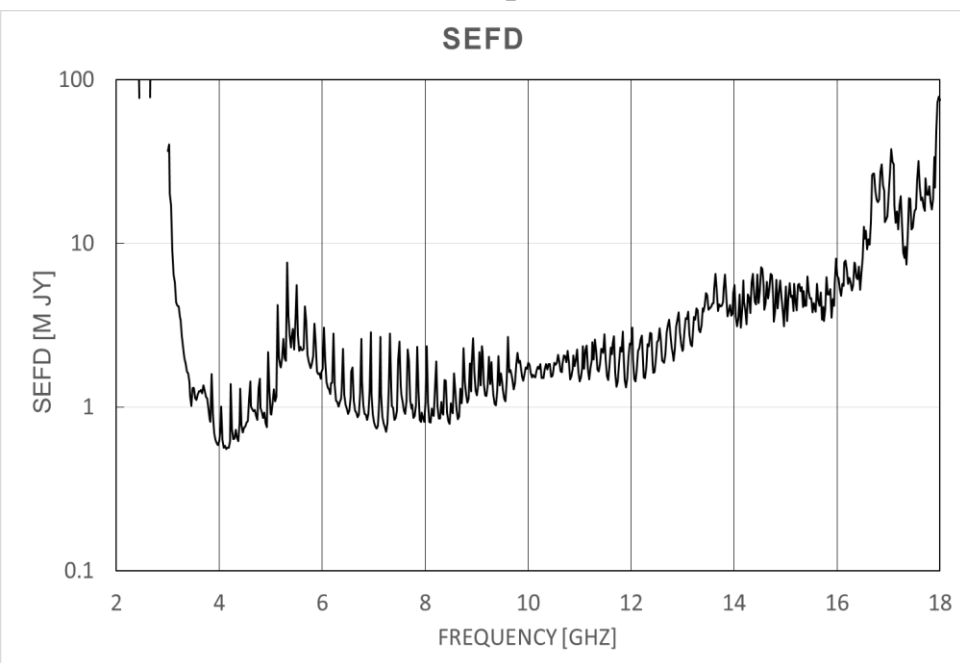




# SEFD

Marble1(産総研つくば)

Marble2(小金井)

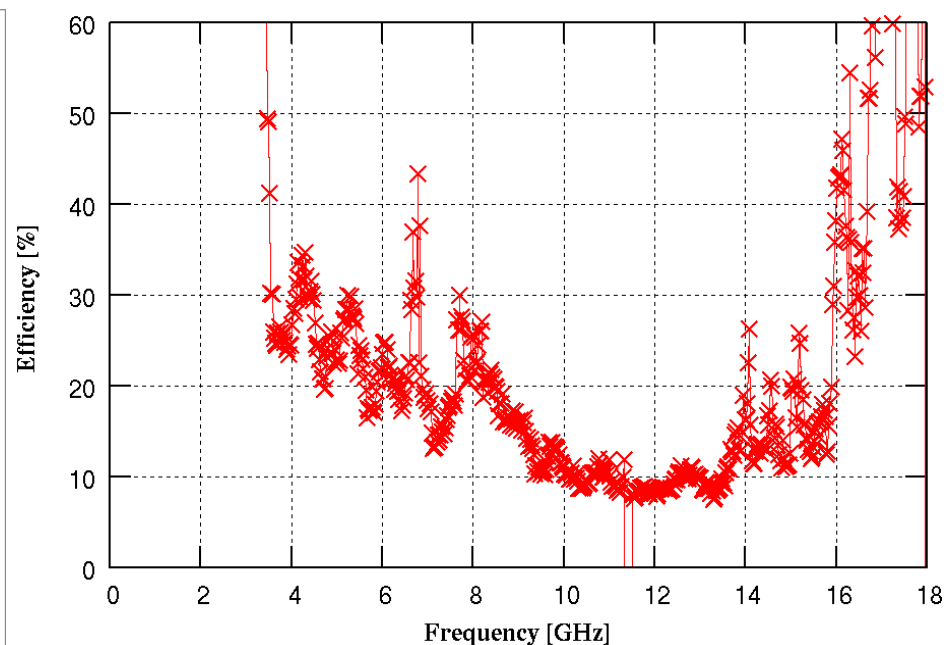
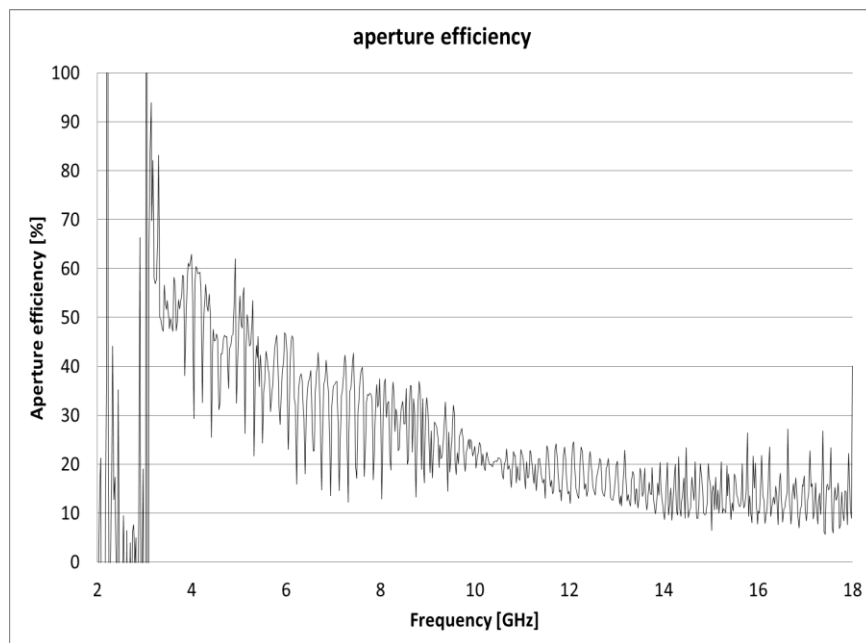




# 開口効率

Marble1(産総研つくば)

Marble2(小金井)



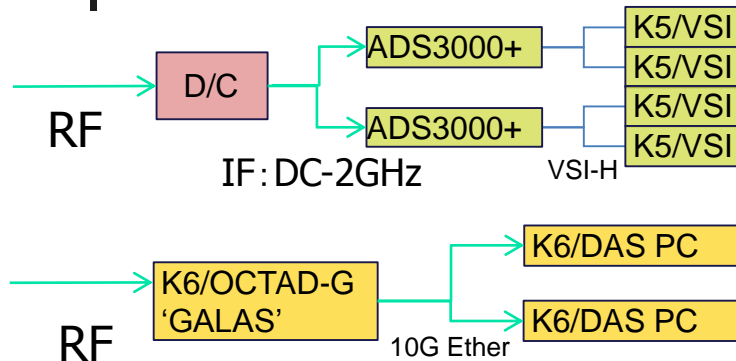


# データ収集系: 1GHz x 4 Ch

2つのアプローチ

1. アナログ Down Converter と “ADS3000+”
2. Direct Sampler “GALAS”

任意の 1MHz step 周波数でデジタルフィルタ+周波数変換。



ADS3000+ Sampler

Direct Sampler “GALAS”  
DBBC(BW=1024MHz)



# 今後の計画

青: ほぼ完了

茶: 進行中

赤: これから

## システム開発

### アンテナ

- 広帯域フィード
- 軸校正、ケーブル捻回部の調整
- 焦点調整・性能測定
- 位相校正信号(PCAL) 性能確認

広帯域信号伝送

### 記録系

- サンプラ性能評価
- ネットワーク受信・記録
- ネットワーク等の整備

### データ処理系

- GICO相関器
- 分散処理
- 超広帯域バンド幅合成

### 解析系

- CALC/SOLVE
- C5++

## ■ VLBI試験観測の実施中

## ■ 観測・解析戦略の調査・検討が必要

1. 位相遅延を使った周極星の観測 課題: 大気遅延補正(KARATS, GPSなど)
2. 多方向の天体を使った広帯域Gala-V観測 課題: 超広帯域バンド幅合成ソフトの整備と解析パスの確立

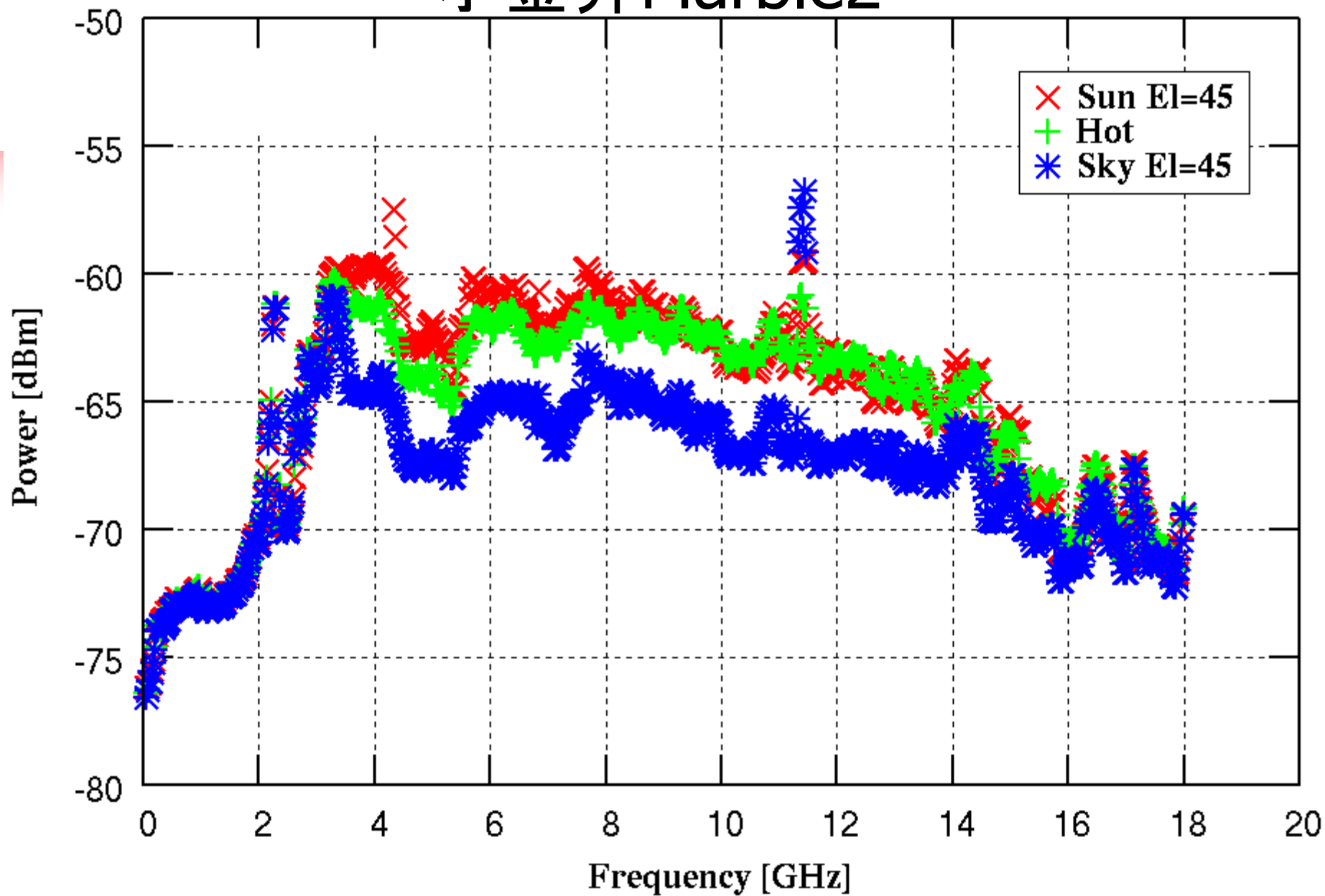
共通クロックなどのVLBI観測をとおして課題の洗い出し。



ありがとうございました。

---

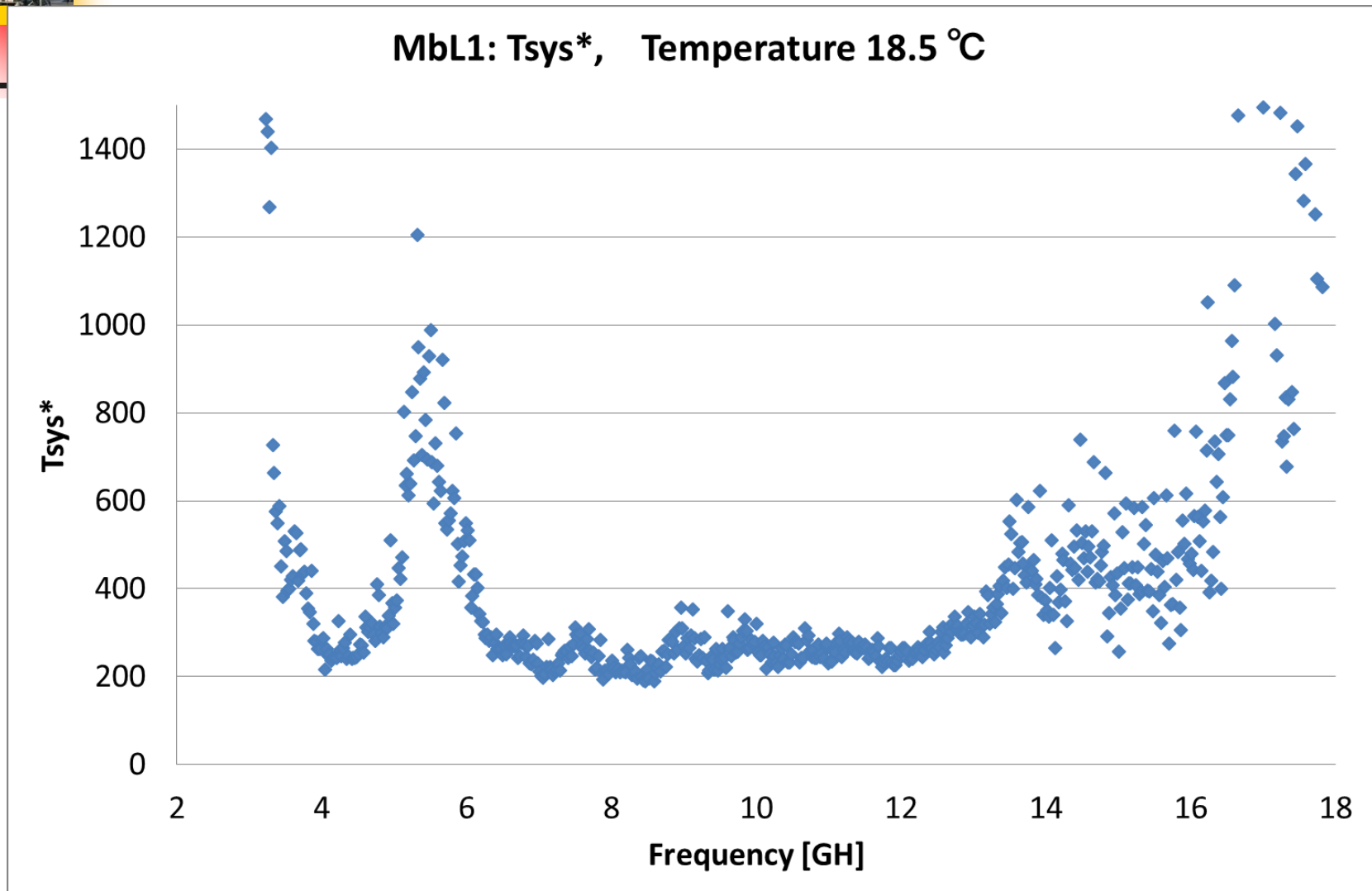
# 小金井Marble2







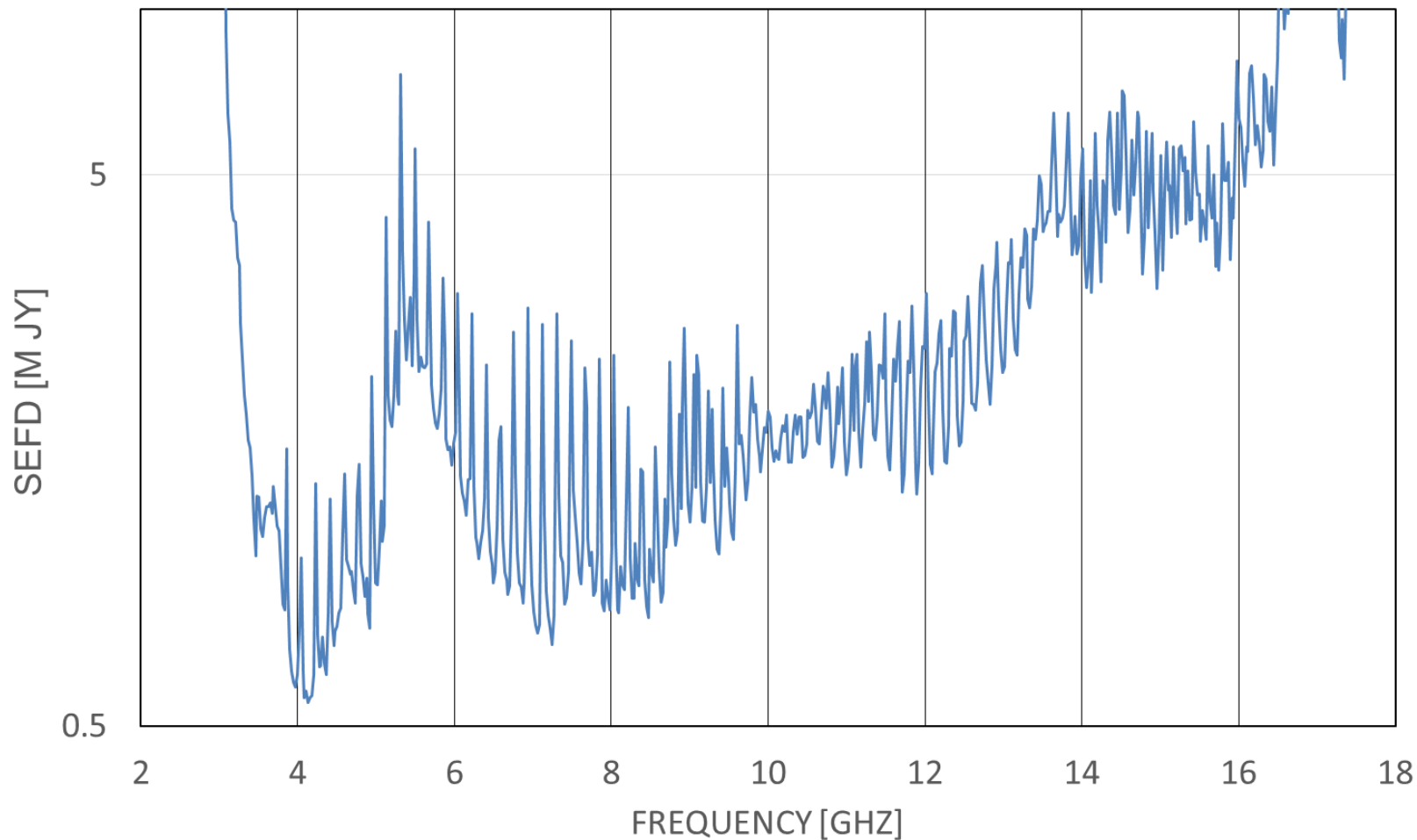
# 産総研つくば Marble1 Tsys\*





# 産総研つくば Marble1 SEFD

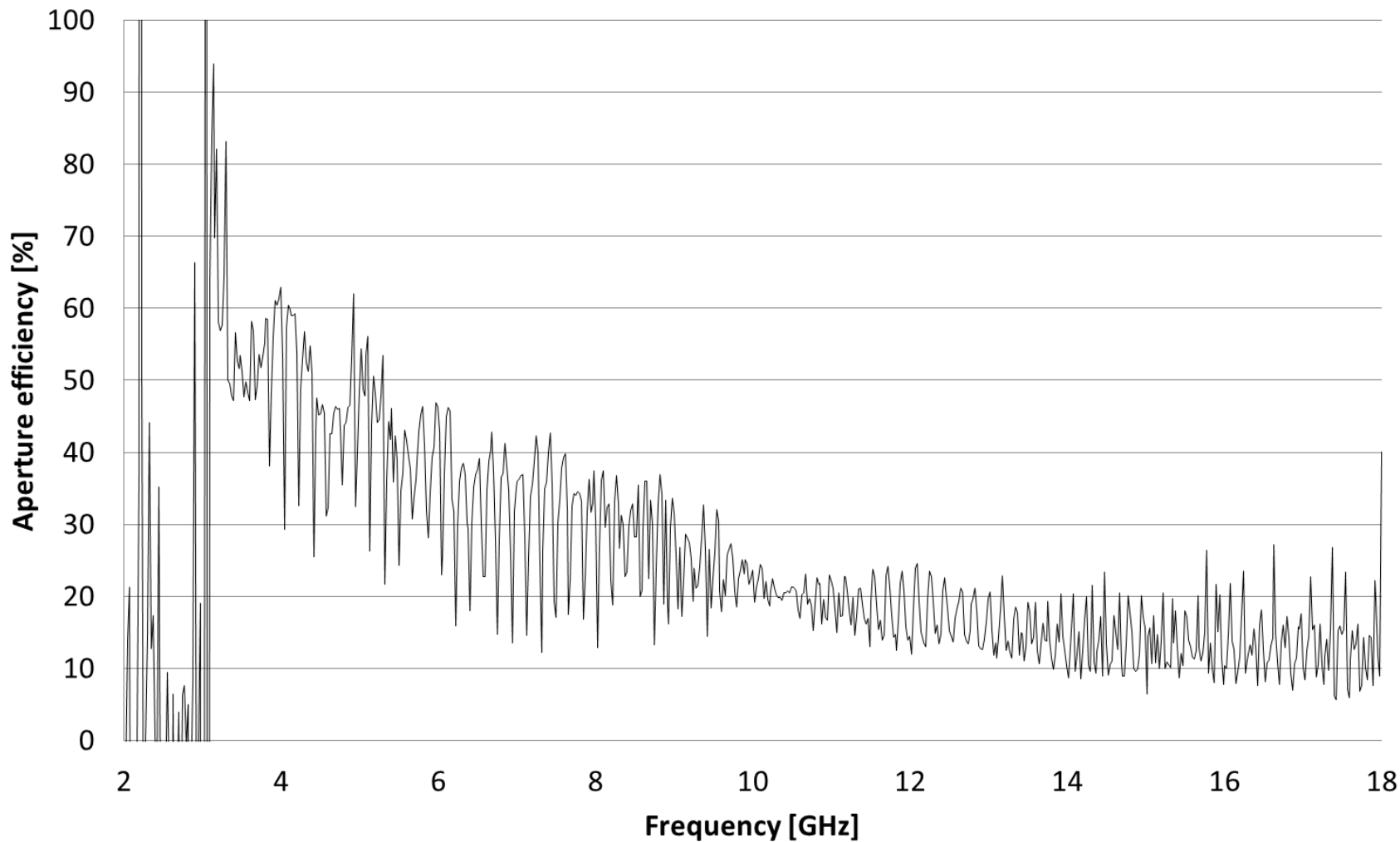
SEFD





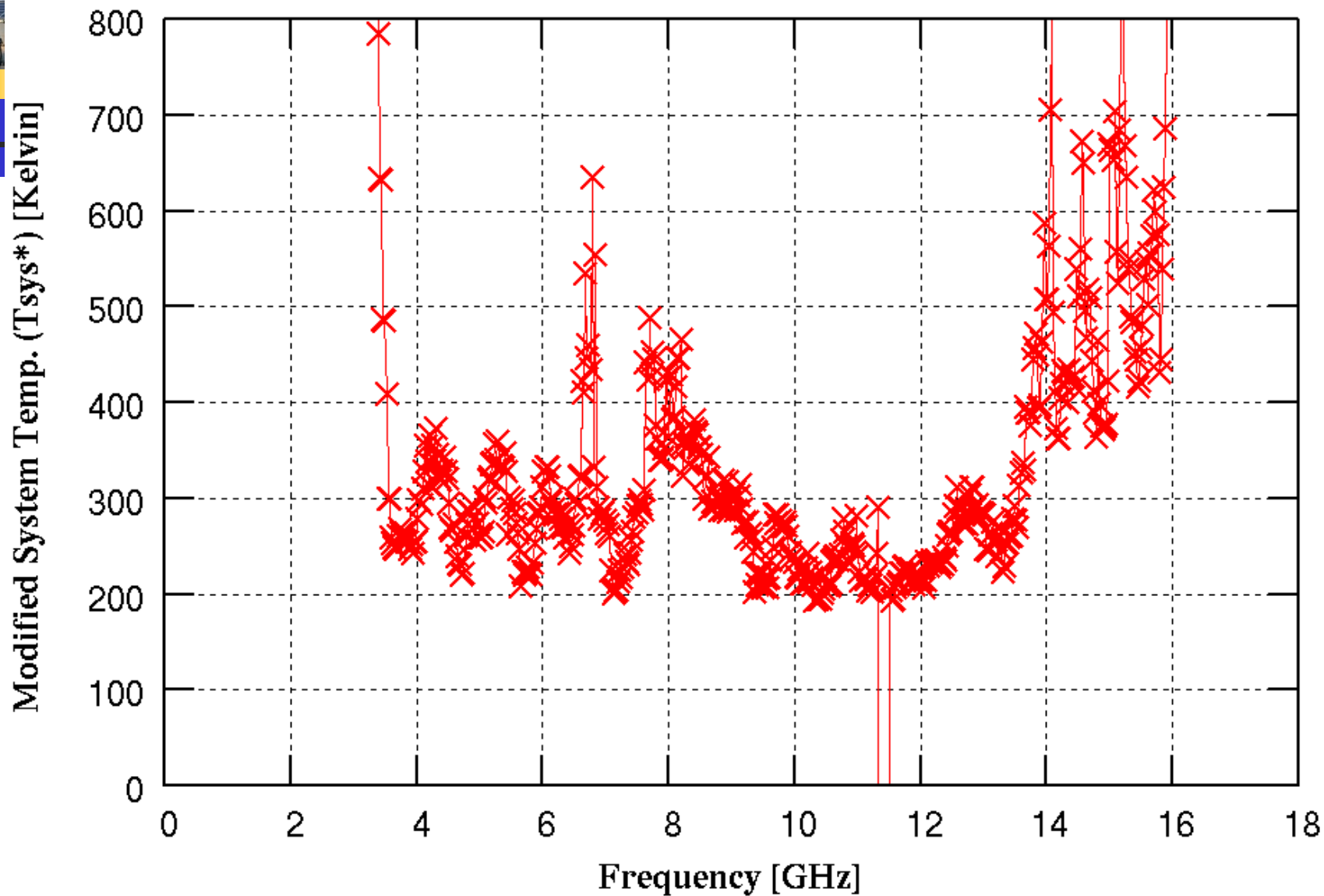
# 産総研つくばMarble1 開口効率

aperture efficiency

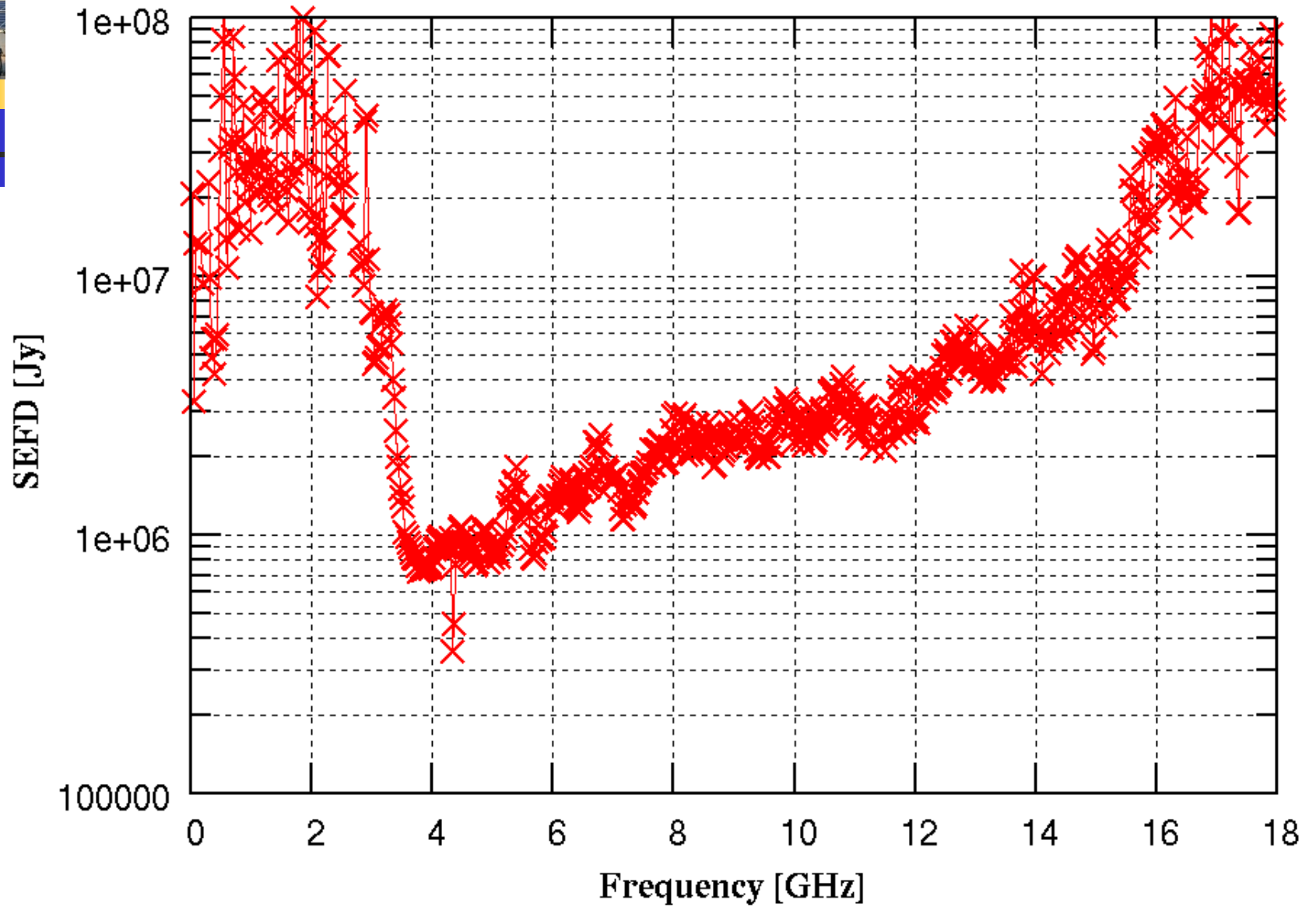




# 小金井Marble2 Tsys\*



# 小金井Marble2 SEFD





# 小金井Marble2 開口効率

